

Nâng cao hiệu quả lập lịch sạc trong mạng cảm biến sạc lại không dây

Ngày 11 tháng 5 năm 2019

Nội dung

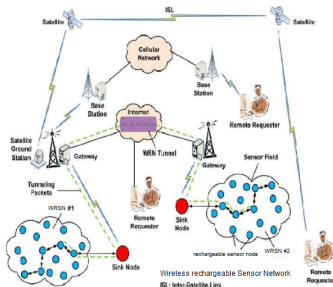
- 1 Giới thiệu
- 2 Một số nghiên cứu liên quan
- 3 Mô hình đề xuất
- 4 Kết quả thực nghiệm
- 5 Kết luận

Nội dung

- 1 Giới thiệu
- 2 Một số nghiên cứu liên quan
- 3 Mô hình đề xuất
- 4 Kết quả thực nghiệm
- 5 Kết luận

Giới thiệu

- Mạng cảm biến không dây (Wireless sensor networks) là mạng liên kết các nút cảm biến (sensor) với nhau nhờ các liên kết không dây để thực hiện các nhiệm vụ cảm nhận.
- Mạng cảm biến không dây được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực: quân sự, giám sát môi trường, giao thông thông minh, giám sát công nghiệp, nông nghiệp, y tế, ...



Thách thức của mạng cảm biến không dây

Vấn đề năng lượng

- Các cảm biến bị hạn chế năng lượng tiêu thụ do các nút cảm biến sử dụng pin là nguồn cung cấp năng lượng chính để hoạt động.
- Trong những môi trường khắc nghiệt việc thay thế pin là rất khó.
- Các nút cảm biến có mức tiêu hao năng lượng khác nhau. Các nút gần trạm cơ sở tiêu hao năng lượng lớn hơn các nút khác do thực hiện nhiệm vụ chuyển tiếp dữ liệu và truyền thông trong giao tiếp không dây nhiều chặng (multi-hop).

Thách thức của mạng cảm biến không dây

Vấn đề năng lượng

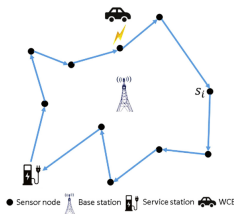
Có hai hướng tiếp cận chính giải quyết vấn đề năng lượng

- Tiết kiệm năng lượng: sử dụng các thuật toán giảm thiểu năng lượng tiêu thụ
- Cung cấp năng lượng (*): sử dụng năng lượng tái tạo, năng lượng gió, năng lượng mặt trời, ...

Mạng cảm biến sạc lại không dây

Wireless rechargeable sensor network

- Trong vài năm gần đây phát triển một công nghệ truyền năng lượng không dây (*wireless energy transmission*) sử dụng một thiết bị sạc không dây di động (*Mobile Charger*) nạp năng lượng cho các nút cảm biến trong mạng.
- Mạng sử dụng công nghệ trên và gồm có các cảm biến được trang bị bộ pin có thể sạc lại năng lượng thông qua sóng truyền không dây gọi là mạng cảm biến sạc lại không dây (*Wireless Rechargeable Sensor Network* - *WRSN*)



Hình 2: Mô hình mạng cảm biến sạc không dây

Giới thiệu

- Các nghiên cứu về WRSN tập trung vào bài toán lập lịch sạc cho thiết bị sạc di động (*car or drone*) nhằm cung cấp năng lượng cho các nút cảm biến một cách hiệu quả nhất.
- Có hai hướng tiếp cận chính:
 - Lập lịch sạc định kỳ cho các nút cảm biến [1]
 - Lập lịch sạc theo yêu cầu của các nút cảm biến [3]

Nội dung

- 1 Giới thiệu
- 2 Một số nghiên cứu liên quan
- 3 Mô hình đề xuất
- 4 Kết quả thực nghiệm
- 5 Kết luận

Một số nghiên cứu liên quan

- Dựa vào diện tích mạng cảm biến được triển khai, các nghiên cứu chia thành hai mô hình sạc:
 - Point to point: mỗi lần sạc MC chỉ sạc được cho một cảm biến
 - Point to multipoint: mỗi lần sạc MC có thể sạc được nhiều cảm biến cùng lúc

Một số nghiên cứu liên quan

- Nhóm tác giả ¹ đề xuất mô hình lập lịch sạc định kỳ cho Mobile Charger (MC) cung cấp năng lượng cho các cảm biến với mục tiêu tối đa hóa thời gian nghỉ của xe ở trạm sạc giữa hai chu kỳ sạc.
- Để giải quyết bài toán trên, tại mỗi thời điểm khi xe tới một nút sạc nhóm tác giả tính được năng lượng còn lại của nút và sạc đầy cho nút đó. Từ đó tính được thời gian sạc của nút cảm biến. Khi đó, họ đưa bài toán lập lịch sạc về bài toán tìm chu trình Hamilton có chi phí thăm tất cả các nút là nhỏ nhất.

¹Yi Shi, Liguang Xie, Y. Thomas Hou, Hanif D. Sherali, " *On Renewable Sensor Networks with Wireless Energy Transfer*", IEEE Infocom, 2011


Một số nghiên cứu liên quan

Nhược điểm:

- Mô hình giả sử năng lượng sạc của xe là vô hạn. Tuy nhiên, trên thực tế thì năng lượng sạc của MC là giới hạn.
- Việc đưa bài toán về tìm đường với chi phí nhỏ nhất không đảm bảo việc các nút có thể bị chết trước khi MC tới sạc do năng lượng tiêu hao trong lúc chờ xe sạc đầy cho các nút được thăm trước.
- Mô hình chưa xem xét tới việc tiêu hao năng lượng của các nút là khác nhau.

Một số nghiên cứu liên quan

- Trong ² cải tiến mô hình của Shi. Họ xem xét tới mức tiêu hao năng lượng khác nhau giữa các nút và năng lượng di chuyển của E_{MC} là hữu hạn.
- Nhóm đề xuất ba kịch bản:
 - kịch bản 1: Năng lượng di chuyển của xe là vô hạn đủ để đi thăm tất cả các nút trong một chu trình tuy nhiên năng lượng tiêu thụ của các nút khác nhau nên sẽ có những nút phải sạc nhiều hơn một lần trong 1 chu kỳ.
 - kịch bản 2: Năng lượng di chuyển của xe là hữu hạn, xe phải chia thành nhiều hành trình con để đi thăm tất cả các nút trong mạng
 - kịch bản 3: Kết hợp kịch bản 1 và 2
- Nhóm tác giả đề xuất giải thuật kết hợp GA và PSO để tìm hành trình sạc của xe nhằm tối đa thời gian nghỉ của xe ở trạm.

²Zengwei Lyu, Zhenchun Wei, Jie Pan, Hua Chen, Chengkai Xia "Periodic charging planning for a mobile WCE in wireless sensor networks based on hybrid PSO and GA algorithm ", Applied soft computing journal (2019) 

Nhược điểm:

- Mô hình giả sử năng lượng sạc của xe là vô hạn.
- Thời gian sạc của xe là xác định được và các chu kỳ là như nhau (do khi xe tới thăm một nút thì xe sẽ sạc đầy cho nút đó). Điều này không thực tế khi số lượng cảm biến lớn và thời gian sạc cho mỗi nút tương đối lớn làm giảm hiệu suất của mạng.

Một số nghiên cứu liên quan

- Trong ³ tác giả đề xuất mô hình lập lịch sạc cho MC nhằm kéo dài thời gian sống của mạng và áp dụng thuật toán tham lam để tìm thời gian sạc tối ưu cho mỗi cảm biến.

Ý tưởng chính của thuật toán như sau:

- Bước 1: Tính thời gian sống của từng cảm biến dựa vào năng lượng còn lại của các cảm biến và năng lượng tiêu thụ. Sau đó sắp xếp thời gian sống của các nút theo thứ tự tăng dần $(\pi_1, T_1), (\pi_2, T_2), \dots, (\pi_n, T_n)$, trong đó T_i là thời gian sống của cảm biến s_i , $T_i \leq T_{i+1}$
- Bước 2: Cố gắng kéo dài thời gian sống của T_1 lên T_2 bằng cách tìm một chuỗi sạc có thể sạc cho nút π_1 mà thời gian sống lớn hơn T_1
- Bước 3: Cố gắng kéo dài tuổi thọ từ T_1 tới T_{j+1} ($1 \leq j \leq n-1$). Nếu một chuỗi sạc có thể được tìm thấy để sạc cho các nút $\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n$ mà thời gian sống của mạng lớn hơn T_1 thì thuật toán tiếp tục nếu không tìm được chuỗi sạc nào thỏa mãn thì dừng

³Y. Peng, Z. Li, W. Zhang, D. Qiao, "Prolong Sensor Network Lifetime Through Wireless Charging", In Proceedings of the 2010 IEEE 31st Real-Time Systems Symposium, USA (2011)

Một số nghiên cứu liên quan

Nhược điểm:

- Thuật toán trên không xem xét tới khoảng cách di chuyển của MC và coi thời gian di chuyển của MC là không đáng kể. Tuy nhiên, thực tế cho thấy khoảng cách này có thể làm tăng năng lượng tiêu thụ của MC và giảm thời gian sạc của các nút cảm biến.
- Chỉ có hiệu quả đối với mạng có số lượng cảm biến nhỏ
- Độ phức tạp của thuật toán là $O(n^2n!)$

Một số nghiên cứu liên quan

- Nhóm tác giả⁴ đề xuất mô hình sạc point to multipoint.
- Ban đầu chia diện tích khu vực mục tiêu ($L \times L$) thành các ô lưới vuông có kích thước bằng nhau với độ dài là d . Tác giả trong chỉ ra mối liên hệ giữa độ dài ô lưới và phạm vi sạc R ($R \leq d \leq 2R$). Sau đó thiết lập các đỉnh trên mỗi ô lưới là các điểm sạc P .
- Các cảm biến ở gần trạm cơ sở tiêu hao năng lượng lớn hơn các nút ở ngoài do có vai trò chuyển tiếp dữ liệu vì vậy nhóm tác giả mạng thành các vòng hình vuông. Kích thước vòng được xác định bằng $\frac{L}{2d}$.
- Đầu tiên MC sẽ xuất phát từ trạm sạc (trạm cơ sở) rồi lần lượt đi qua các cảm biến gần trạm cơ sở (vòng trong cùng) áp dụng thuật toán người láng giềng gần nhất (*Nearest Neighbor*) để sạc cho các nút trong từng vòng.
- Thời gian sạc cho từng vòng phụ thuộc vào tỷ lệ năng lượng tiêu thụ trung bình trong từng vòng.

⁴Xuan Yang, Guangjie Han, Li Liu, Aihua Qian, Wenbo Zhang, "IGRC An improved grid-based joint routing and charging algorithm for wireless rechargeable sensor networks", Future Generation Computer Systems, 2019

Một số nghiên cứu liên quan

Lập lịch sạc định kỳ

Nhược điểm:

- Mô hình chỉ áp dụng phù hợp trong mạng cảm biến phân phối đều, đối với mạng được rải ngẫu nhiên hoặc theo cụm thì mô hình không phù hợp do năng lượng tập trung vào một số vùng vì vậy cần sạc cho vùng đó nhiều hơn.
- Mô hình giả sử năng lượng di chuyển là không giới hạn
- Hành trình di chuyển của xe không được xem xét đến vì vậy có những trường hợp xe phải di chuyển rất xa để sạc cho các nút. Trong khi đó có những nút sẽ dừng hoạt động do không nhận được nạp năng lượng kịp thời làm giảm hiệu suất hoạt động của mạng.

Một số nghiên cứu liên quan

Nhận xét:

- Các nghiên cứu chủ yếu giả sử năng lượng di chuyển hoặc năng lượng sạc của MC là vô hạn. Điều đó không thực tế.
- Các nghiên cứu giả sử mỗi lần thăm nút cảm biến đều sạc đầy năng lượng. Như vậy thời gian sạc là hằng số.

Đề xuất mô hình

- Mô hình xem xét đồng thời cả năng lượng sạc và năng lượng di chuyển của xe là hữu hạn
- Tối ưu thời gian sạc cho cảm biến

Nội dung

- 1 Giới thiệu
- 2 Một số nghiên cứu liên quan
- 3 Mô hình đề xuất**
- 4 Kết quả thực nghiệm
- 5 Kết luận

Phát biểu bài toán

- Triển khai một mạng cảm biến sạc không dây gồm n sensor có thể sạc không dây trong một khu vực hai chiều, $SN = s_1, s_2, \dots, s_n$ và một trạm sạc s_0 .
- Giả sử năng lượng sau lần sạc thứ $k-1$ của sensor s_i là E_i^{k-1}
- Năng lượng hoạt động tối thiểu của sensor là E_{min} .
- Công suất tiêu thụ của s_i là p_i .
- Tại chu kỳ thứ k , mobile charger sẽ đi theo hành trình $(\pi_0, \pi_1, \dots, \pi_i, \dots, \pi_n, \pi_{n+1})$ trong đó $\pi_{n+1} = \pi_0 = s_0$ và $\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n$ là hoán vị của $1, \dots, n$
- Tại nút π_i mobile charger sẽ dừng khoảng thời gian τ_i .
- Giả sử năng lượng di chuyển và năng lượng sạc của mobile charger là E_{MC}

Mục tiêu:

- Tìm $\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n$ và $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n$ sao cho sau khi mobile charger đi hết một vòng thì số lượng sensor bị chết là nhỏ nhất.

Phát biểu bài toán

Định nghĩa nút chết

- Sensor bị chết khi mức năng lượng của nó nhỏ hơn mức năng lượng tối thiểu E_{min}

Mô hình bài toán

Tại chu kỳ thứ k , f_i là trạng thái của sensor s_i :

- $f_i = 1$ khi:

- Xe dừng tại s_i , năng lượng còn lại của cảm biến s_i nhỏ hơn E_{min} :

$$E_i^{k-1} - \left(\sum_{j=0}^{i-1} \frac{d_{j,j+1}}{v} + \sum_{j=1}^{i-1} \tau_j \right) \times p_i < E_{min}$$

- Xe quay về trạm sạc s_0 , năng lượng còn lại của cảm biến s_i nhỏ hơn E_{min} :

$$E_i^k + \tau_i \times U - \left(\sum_{j=i}^n \frac{d_{j,j+1}}{v} + \sum_{j=i+1}^{in-1} \tau_j \right) \times p_i < E_{min}$$

Trong đó:
$$E_i^k = E_i^{k-1} - \left(\sum_{j=0}^{i-1} \frac{d_{j,j+1}}{v} + \sum_{j=1}^{i-1} \tau_j \right) \times p_i.$$

- $f_i = 0$ nếu năng lượng còn lại cảm biến luôn lớn hơn E_{min} trong cả hai trường hợp trên.

Mô hình bài toán

- **Đầu vào:**

- Vị trí n cảm biến có tọa độ $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$, trạm sạc và trạm cơ sở trùng nhau có tọa độ $(0, 0)$
- Công suất tiêu thụ của các cảm biến p_1, p_2, \dots, p_n
- Năng lượng của các cảm biến tại thời điểm $k = 0$ là $E_1^0, E_2^0, \dots, E_n^0$ (J)
- Năng lượng di chuyển và năng lượng sạc của MC là E_{MC} (J)
- E_{max}, E_{min} : Dung lượng pin tối đa và tối thiểu của cảm biến
- Công suất sạc của xe U (J/s), Vận tốc di chuyển của xe v (m/s), Công suất di chuyển của xe P_M

- **Đầu ra:**

- $Q = \{\pi_0, \pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n, \pi_{n+1} = \pi_0\}$ là hành trình di chuyển của xe
- $\tau = \{0, \tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n, 0\}$ là thời gian sạc cho từng nút

- **Mục tiêu:** minimize $\sum_i^n f_i$

- **Ràng buộc:**
$$\frac{\sum_{j=0}^n d_{\pi_j \pi_{j+1}}}{v} \times P_M + \sum_{i=1}^n \tau_i \times U \leq E_{MC}$$

Đề xuất giải thuật

Đề xuất giải thuật hai pha

- **Pha 1:** Tìm hành trình di chuyển tối ưu của xe sạc
- **Pha 2:** Tính thời gian sạc tối ưu cho các nút tương ứng với thứ tự sạc của xe tìm được sau pha 1

Pha 1

Tìm hành trình di chuyển tối ưu của xe sạc

- Tính năng lượng còn lại của mỗi một nút, tại thời điểm mà mobile charger dừng lại để sạc
- Giả sử tại chu kỳ thứ k , mobile charge dừng lại sạc pin tại các thời điểm t_1, t_2, \dots, t_n
- Tính năng lượng của mỗi sensor node tại các thời điểm t_1, t_2, \dots, t_n
- Xét trọng số chọn thứ tự sạc phụ thuộc vào hai yếu tố: năng lượng còn lại của cảm biến và khoảng cách giữa hai nút s_k và nút s_i
Gọi w_i là trọng số của mỗi nút s_i

Đề xuất giải thuật GA

- Mã hóa cá thể:
 - Mỗi cá thể là một hành trình di chuyển của MC
 - Ban đầu các cá thể được sinh ngẫu nhiên
- Hàm thích nghi (*Fitness function*)

$$w_i = \alpha \times \frac{E_i^{k-1} - \sum_{j=1}^i t_j \times p_i - E_{min}}{p_i} + (1 - \alpha) \times \frac{d_{ki}}{K \times v}$$

$$cost(I) = \sum_i^n w_i$$

$$f(I) = \frac{1}{cost(I)}$$

Lai ghép

- Lai ghép: Cha mẹ được chọn theo phương pháp tournament, toán tử được sử dụng cho mỗi cặp cha mẹ là CircleCrossover:

$$M = \pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n$$

$$D = \pi'_1, \pi'_2, \dots, \pi'_n$$

- Lần lượt tìm ra những chu trình con trên nhiễm sắc thể của cha và mẹ và trao đổi chúng cho nhau
- Ví dụ: Có 2 nhiễm sắc thể cha mẹ như sau:

$$M = 3, 2, 1, 4, 6, 7, 5$$

$$D = 2, 1, 4, 3, 7, 5, 6$$

- Đối với các chu trình có chỉ số lẻ, trao đổi đoạn chu trình của cha cho mẹ, nếu không thì giữ nguyên
- Sau khi trao đổi, ta được 2 nhiễm sắc thể con là:

$$C_1 = 2, 1, 4, 3, 6, 7, 5$$

$$C_2 = 3, 2, 1, 4, 7, 5, 6$$

Đột biến

Sử dụng 1 trong hai phép đột biến sau

- Phép đột biến 1: Tráo đổi 2 gene bất kì tạo thành nhiễm sắc thể mới
- Ví dụ: Có một đoạn nhiễm sắc thể như sau:

$$M = 2, 1, 3, 4, 6, 5, 7$$

- Chọn ngẫu nhiên 2 gene, giả sử là 3 và 6, tráo đổi vị trí của chúng cho nhau, ta được nhiễm sắc thể mới là:

$$C = 2, 1, 6, 4, 3, 5, 7$$

- Phép đột biến 2: Chọn Một điểm cắt bất kì, chia nhiễm sắc thể thành 2 phần, đảo ngược 2 phần đó rồi ghép chúng lại để tạo ra nhiễm sắc thể mới

Đột biến

- Phép đột biến 2: Chọn Một điểm cắt bất kì, chia nhiễm sắc thể thành 2 phần, đảo ngược 2 phần đó rồi ghép chúng lại để tạo ra nhiễm sắc thể mới
- Ví dụ: Có đoạn nhiễm sắc thể như sau:

$$P = 4, 3, 1, 6, 7, 2, 5$$

- Chọn điểm cắt bất kì, giả sử là 3, đảo ngược 2 đoạn gene của mỗi phần, ta được nhiễm sắc thể mới như sau:

$$P' = 1, 3, 4, 5, 2, 7, 6$$

Chọn lọc

- Các cá thể được sắp xếp theo thứ tự hàm fitness giảm dần
- Chọn lọc $\frac{P_{size}}{2}$ các cá thể tốt nhất từ trên xuống, và $\frac{P_{size}}{2}$ cá thể lấy ngẫu nhiên trong các cá thể còn lại.

Pha 2

Tính thời gian sạc tối ưu

Đầu vào:

- $Q = \{\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n, \}$ là hành trình di chuyển tối ưu của xe tìm được sau pha 1
- U công suất sạc
- $\tau = \frac{E_{MC} - E_T}{U}$

Đầu ra:

- $\{\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n\}$ thời gian sạc cho từng nút

Mục tiêu:

- *minimize* $\sum_{i=1}^n f_i$

Ràng buộc:

- $0 \leq \sum_1^n \tau_i \leq \tau$
- $0 \leq \tau_i \leq \frac{E_{max} - E_{min}}{U - p_i}$

Đề xuất giải thuật GA liên tục

- Chuẩn hóa tổng thời gian sạc của n các cảm biến $\sum_i^n \tau_i \in [0, \tau]$ về $\sum_i^n \sigma_i \in [0, 1]$, khi đó $\sigma_i \in [0, \frac{\tau_{imax}}{\tau}]$
- Mã hóa cá thể:

$$\sigma_I = \{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n\}$$

trong đó $\sigma_1 = \text{random}[0, 1]$

$$\sigma_i = \text{random}[0, 1 - \sum_{j=1}^{i-1} \sigma_j]$$

$$\text{và thỏa mãn } \sigma_i \in [0, \frac{\tau_{imax}}{\tau}]$$

- Giải mã về thời gian sạc:

$$\tau_I = \{\sigma_1 \tau, \sigma_2 \tau, \dots, \sigma_n \tau\}$$

Lai ghép và Đột biến

- **Lai ghép**

Đầu tiên, ta chọn điểm lai ghép α ngẫu nhiên trong khoảng $1..n$.
Sau đó, với hai bố mẹ

$$M = [\sigma_{m1}\sigma_{m2}\dots\sigma_{m\alpha}\dots\sigma_{mn}]$$

$$D = [\sigma_{d1}\sigma_{d2}\dots\sigma_{d\alpha}\dots\sigma_{dn}]$$

Ta lai ghép để sinh ra hai con

$$C_1 = [\sigma_{m1}\sigma_{m2}\dots\sigma_{\text{new}1}\dots\sigma_{mn}]$$

$$C_2 = [\sigma_{d1}\sigma_{d2}\dots\sigma_{\text{new}2}\dots\sigma_{dn}]$$

với

$$\sigma_{\text{new}_1} = (1 - \beta)\sigma_{m\alpha} + \beta\sigma_{d\alpha}$$

$$\sigma_{\text{new}_2} = \beta\sigma_{m\alpha} + (1 - \beta)\sigma_{d\alpha}$$

trong đó β là hệ số lai ghép, chọn ngẫu nhiên trong khoảng $[-0, 5..0.5]$.

Lai ghép và Đột biến

- **Đột biến**

Sau khi thực hiện lai ghép, thuật toán tiến hành đột biến với tỉ lệ đột biến cho trước với quần thể sau khi lai ghép.

Đầu tiên, ta chọn hai điểm đột biến khác nhau bằng cách sinh ngẫu nhiên.

$$\alpha_1 = \text{random}(1..n)$$

$$\alpha_2 = \text{random}(1..n)$$

Với một cá thể có nhiễm sắc thể như sau

$$\text{parent} = [\sigma_{p1}\sigma_{p2}\dots\sigma_{p\alpha_1}\dots\sigma_{p\alpha_2}\dots\sigma_{pn}]$$

Ta thực hiện sinh ngẫu nhiên giá trị σ_{new} tại vị trí của σ_{α} thỏa mãn điều kiện cận.

$$\text{offspring} = [\sigma_{p1}\dots\sigma_{p\alpha_1} + \Delta\dots\sigma_{p\alpha_2} - \Delta\dots\sigma_{pn}]$$

$$\text{với } \Delta = \min\{\Delta_1, \Delta_2\}$$

$$\Delta_1 = \text{random}[0..\sigma_{p\alpha_1}].$$

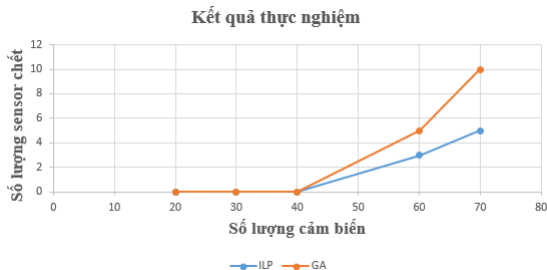
$$\Delta_2 = \text{random}[0..\sigma_{p\alpha_2}].$$

Nội dung

- 1 Giới thiệu
- 2 Một số nghiên cứu liên quan
- 3 Mô hình đề xuất
- 4 Kết quả thực nghiệm**
- 5 Kết luận

Thực nghiệm

- Thực nghiệm trên bộ dữ liệu gồm 10, 20, 30, 40, 60, 70 nút cảm biến với năng lượng còn lại, công suất tiêu thụ của các cảm biến tuân theo phân phối đều.
- $E_M C = 40000$, $E_{max} = 8000$, $E_{min} = 540$, $U = 5(J/s)$, $V = 5(m/s)$



Nội dung




- 1 Giới thiệu
- 2 Một số nghiên cứu liên quan
- 3 Mô hình đề xuất
- 4 Kết quả thực nghiệm
- 5 Kết luận**

- Kết quả bước đầu cho thấy giải thuật đề xuất có hiệu quả đối với mô hình đề xuất

Công việc triển khai tiếp theo

- Tiếp tục cải tiến thuật toán GA
- Giải quyết bài toán tối thiểu hóa nút chết trên nhiều chu kỳ
- Áp dụng giải thuật MEFA cho mô hình mới.

Tài liệu tham khảo

-  Zengwei Lyu, Zhenchun Wei, Jie Pan, Hua Chen, Chengkai Xia (2019), “*Period charging planning for a mobile WCE in wireless rechargeable sensor network based on hybrid PSO and GA algorithm*”, Applied Soft Computing Journal.
-  Xuan Yang, Guangjie Han, Li Liu (2019) " *An improved grid-based joint routing and charging algorithm for wireless rechargeable sensor networks* ", Future Generation Computer Systems.
-  Amar Kaswan, Abhinav Tomar, Prasanta (2018), “ *An efficient scheduling scheme for mobile charger in on-demand wireless rechargeable sensor networks*”, Journal of Network and Computer Applications.